

UNIVERSIDADE DE ÉVORA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

# HIDRÁULICA GERAL I

MANUAL PARA APOIO AOS TRABALHOS DE  
LABORATÓRIO DA DISCIPLINA DE HIDRÁULICA  
GERAL I

Maria Madalena Vitório Moreira Vasconcelos

Évora, 2004

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUÇÃO**

Pretende-se, com a realização dos trabalhos de laboratório, que os alunos analisem e visualizem as noções teóricas e práticas aprendidas nas aulas da disciplina de Hidráulica Geral I, do Curso de Engenharia de Recursos Hídricos da Universidade de Évora.

Os alunos, além dos trabalhos aconselhados pelos docentes, podem realizar as experiências que achem oportunas e convenientes à aprendizagem da matéria leccionada. Devem, no entanto, responsabilizar-se por preservar o estado de conservação do material.

No futuro, o corpo docente desta disciplina espera poder proporcionar a realização de maior número de trabalhos laboratoriais.

Este Guia está organizado por capítulos contendo as seguintes matérias:

Capítulo 2 - Descrição do equipamento a utilizar: banco hidráulico e acessórios

Capítulo 3 - Trabalho referente à determinação da impulsão e centro de impulsão

Capítulo 4 - Trabalho referente à visualização dos regimes laminar e turbulento (Experiência de Reynolds)

Capítulo 5 - Trabalho referente à demonstração da Equação da Continuidade e Teorema de Bernoulli



## CAPÍTULO 2

### DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO

#### 2.1 Banco Hidráulico da Cussons (P6100)

O banco de ensaios, representado na Figura 1, é constituído por uma estrutura metálica que suporta uma placa em fibra de vidro, para instalação dos acessórios, com um canal de secção rectangular que dá acesso a um tanque graduado para medição de caudais pelo método volumétrico. Existe uma plataforma inferior para apoio de um reservatório de alimentação e de uma bomba centrífuga.

O tanque de medição permite avaliar o volume de água através de um tubo transparente, graduado em litros e exterior, em comunicação com o tanque. Para melhorar a precisão da medição de pequenos volumes de água, o reservatório apresenta uma zona inferior com menor área da secção transversal.

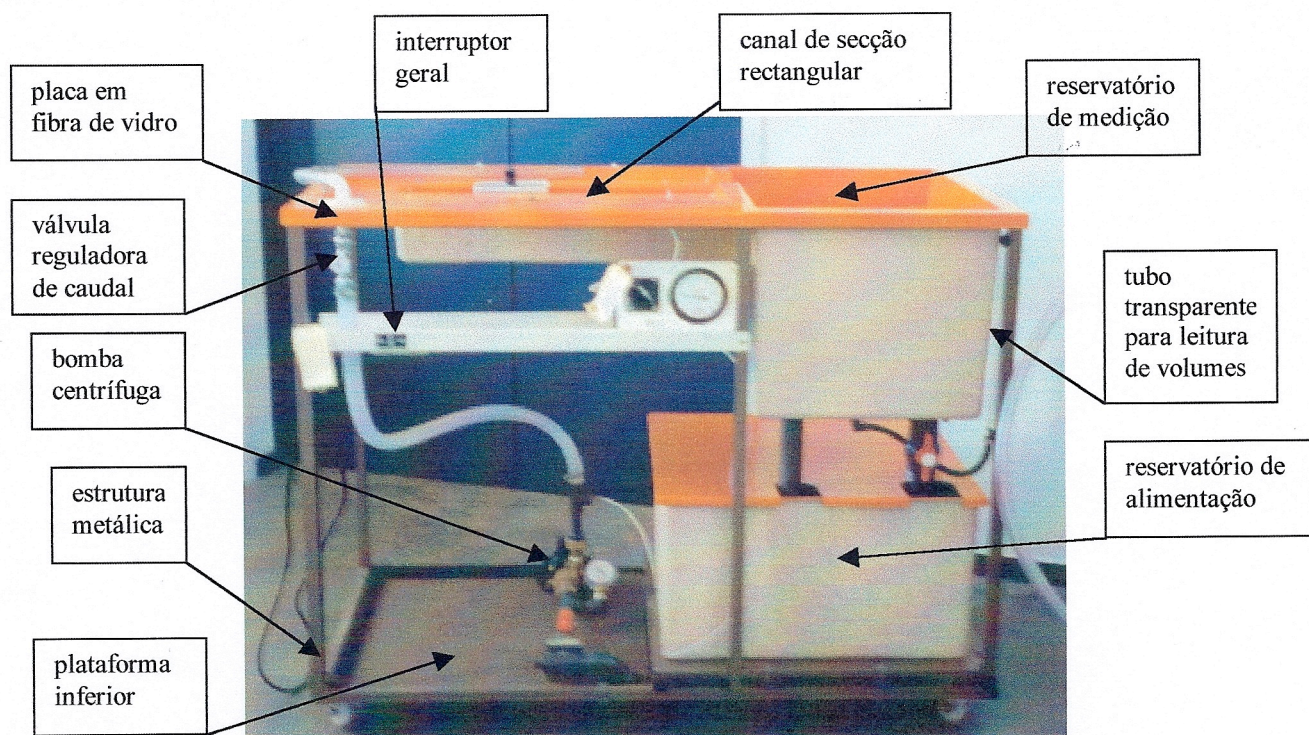


Figura 1 Banco Hidráulico Cussons (P6100)

O fluido usado na instalação é a água da rede pública, com o escoamento em circuito fechado. A água no reservatório de alimentação é elevada para o nível superior do banco permitindo a sua utilização nos diferentes acessórios, sendo restituída ao



reservatório de medição através do canal e, por sua vez, despejada no reservatório de alimentação.

Uma bomba centrífuga à velocidade de 5000 rpm eleva o caudal de 50 l/min à altura total de elevação de aproximadamente 3 m. A altura total de elevação em vazio (caudal nulo) é de cerca de 16 m.

## 2.2 Acessórios

### 2.2.1 Reservatório de nível constante (P6103)

Este reservatório, Figura 2, instalado a montante, permite obter carga constante, em alternativa 250 mm ou 500mm. Os dois níveis são conseguidos devido à existência de dois tubos de descarga às cotas 250 mm e 500 mm, respectivamente, podendo ser usados em alternativa.

O reservatório fixa-se ao banco hidráulico com dois parafusos.

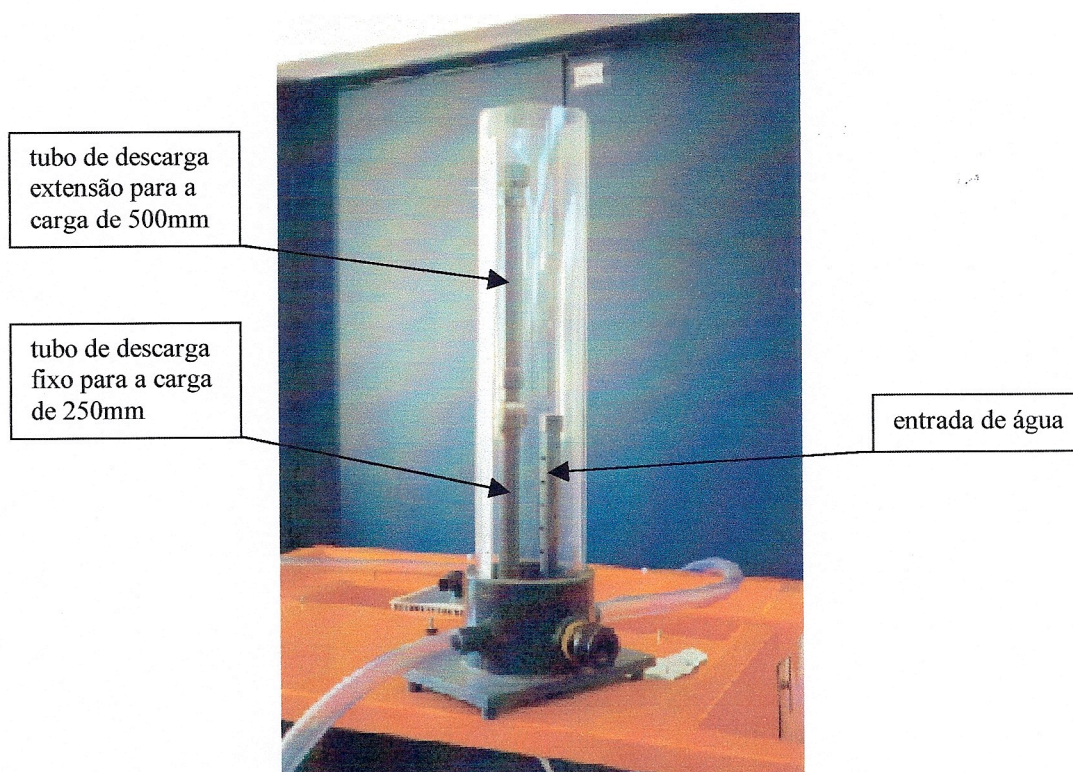


Figura 2 Tanque de nível constante

### 2.2.2 Reservatório de nível variável (P6104)

O reservatório de nível variável, Figura 3, instalado a jusante de um dado dispositivo experimental e associado ao reservatório de nível constante, instalado a



montante, permite regular o caudal no dispositivo experimental através de um tubo de saída regulável. Neste reservatório a carga pode variar entre 50 mm e 300 mm relativamente ao eixo do dispositivo.

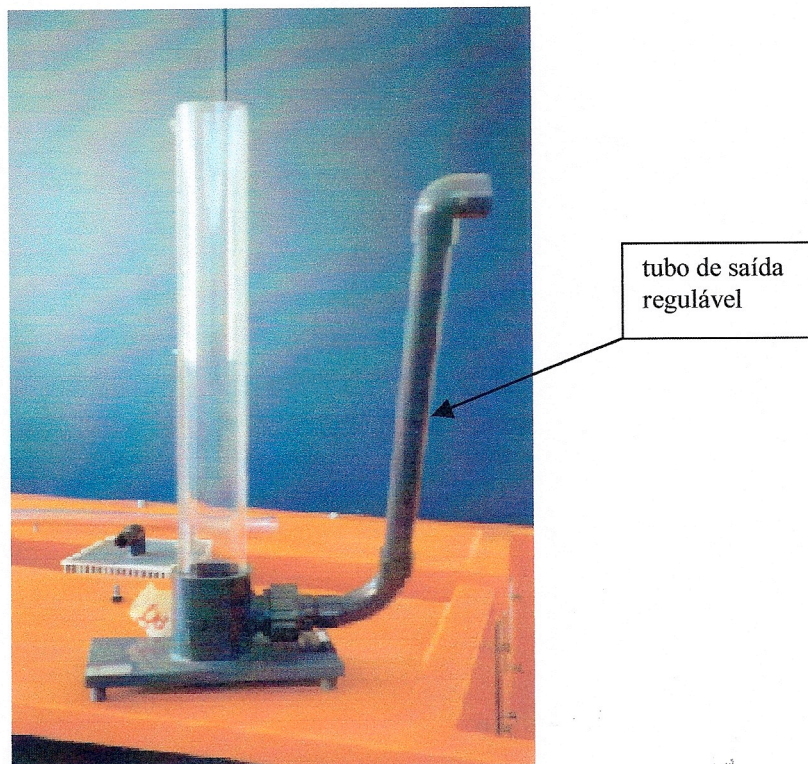


Figura 3 Tanque de nível variável

### 2.2.3 Dispositivo de impulsão e centro de impulsão (F1-12)

O dispositivo Armfield F1-12 para determinação da impulsão hidrostática e do centro de impulsão consiste num tanque de perspex com uma base integrada que pode ser nivelada ajustando os três parafusos de apoio com a ajuda do nível instalado na base do aparelho, Figura 4.

Sobre o tanque está apoiado um braço de balança.

Associado ao braço existe uma superfície fechada com a forma de um quadrante em que o raio interior é 100 mm e o raio exterior é 200 mm e com 75 mm de espessura. A sua face rectangular de extremidade é vertical e as duas superfícies curvas são concêntricas, tendo como eixo geométrico o apoio do braço (eixo de rotação do braço). Deste modo, quando se faz sentir a força de impulsão sobre o quadrante, apenas a impulsão sobre a face rectangular vertical tem momento relativamente ao eixo de rotação do braço. Para equilibrar o momento provocado pela impulsão sobre o quadrante existe um prato de balança numa extremidade do braço.



A posição de equilíbrio inicial do braço (com o prato da balança) é conseguida com o ajuste do cilindro contrapeso instalado na outra extremidade.

O nível de água no reservatório pode ser medido através de uma escala na superfície lateral do quadrante.

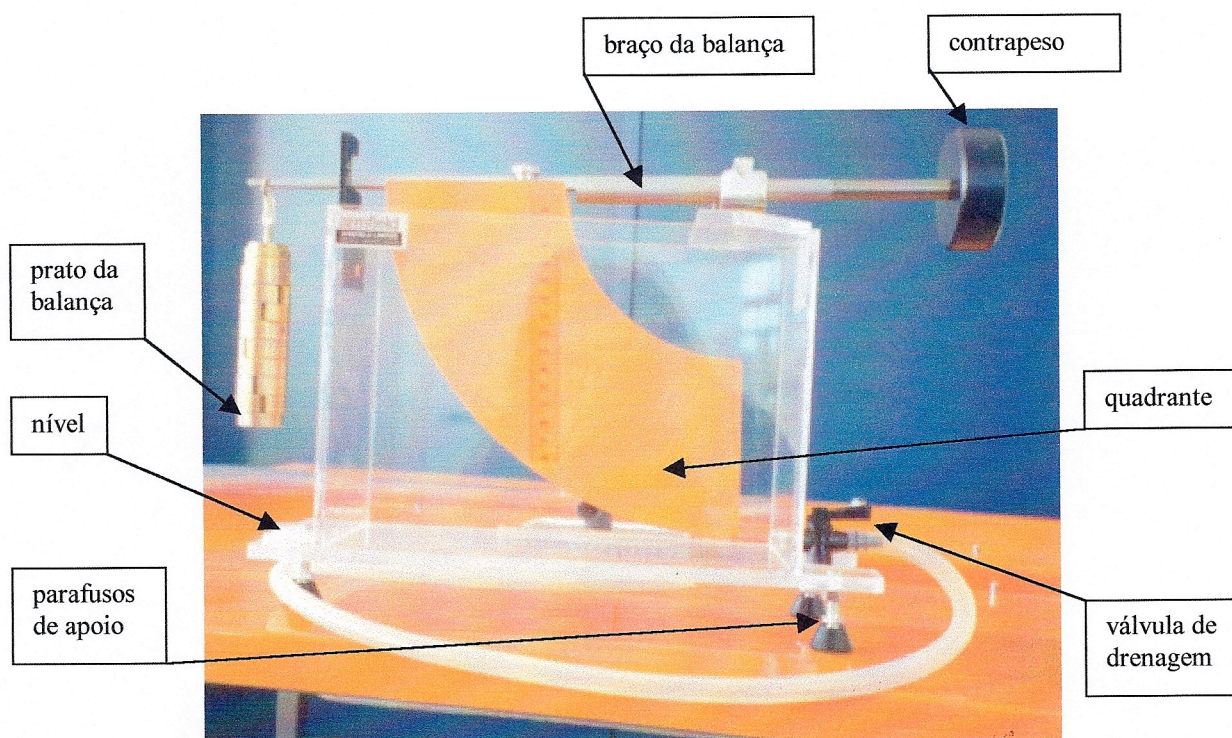


Figura 4 Dispositivo de centro de impulsão

#### 2.2.4 Dispositivo de Bernoulli (P6231)

Este componente consiste num tubo de secção rectangular em acrílico com dois troços simétricos, o primeiro troço convergente e o segundo troço divergente. O tubo apresenta 11 tomadas de pressão a que estão ligados 11 tubos piezométricos, Figura 5. A cota piezométrica nas secções com tomada de pressão do tubo pode variar entre 0 mm e 450 mm

O tubo tem como limite superior uma superfície plana horizontal e como limite inferior uma superfície plana inclinada formando um ângulo de  $4^{\circ} 29'$  com o plano horizontal. A largura do tubo é constante e igual a 6.35 mm e a altura da secção transversal ao longo do tubo varia entre 19.525 mm nas extremidades e 6.35 mm na garganta.

Existe uma tomada de pressão na secção média e de simetria do tubo. As restantes 10 tomadas de pressão estão afastadas de 25 mm em 25 mm a partir da secção média,



Quadro 1. As características geométricas das diferentes secções relativas às tomadas de pressão são apresentadas no Quadro 1.

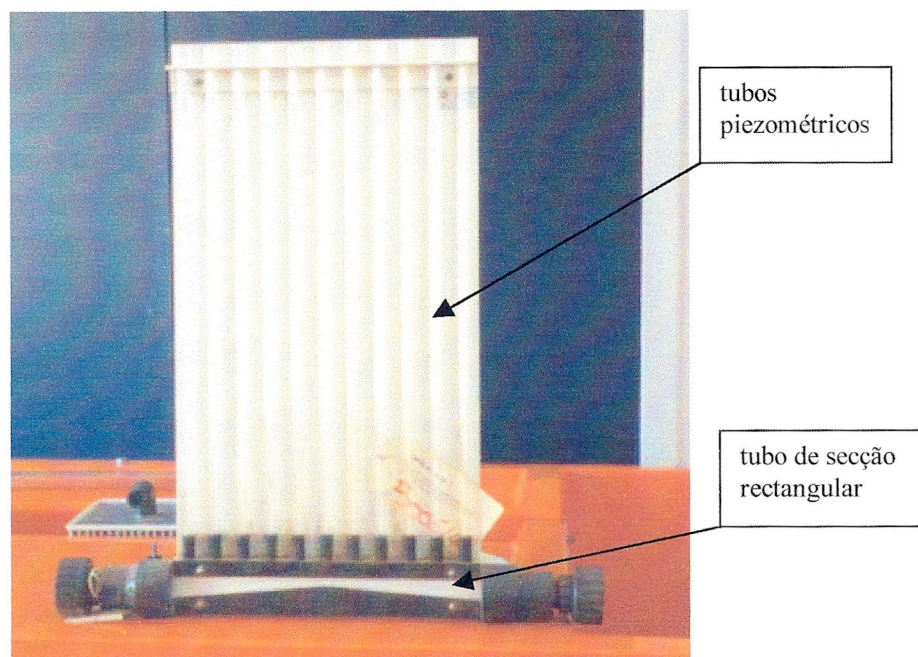


Figura 5 Dispositivo de Bernoulli (P6231)

Inclui um dispositivo de injeção de tinta que permite ilustrar a transição entre os regimes de escoamento laminar e turbulento.

Quadro 1 Características geométricas das secções transversais correspondentes às tomadas de pressão

nº da tomada de pressão	secção de montante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	secção de jusante
distância à secção de montante (mm)	0	43	68	93	118	143	168	193	218	243	268	293	336
altura da secção (mm)	19.525	16.15	14.19	12.23	10.27	8.31	6.35	8.31	10.27	12.23	14.19	16.15	19.525
área de escoamento (mm <sup>2</sup> )	123.984	102.56	90.11	77.66	65.22	52.77	40.32	52.77	65.22	77.66	90.11	102.56	123.984

### CAPÍTULO 3

## DETERMINAÇÃO DA IMPULSÃO E DO CENTRO DE IMPULSÕES DE UMA SUPERFÍCIE PLANA DE FORMA RECTANGULAR E VERTICAL

### 3.1 Introdução

O sistema de pressões sobre o quadrante é representado nas Figuras 6 e 7, sendo o momento resultante das forças de pressão igual a :

$$M = \Pi b_{\Pi}$$

Este momento é anulado pelo momento das massas colocadas no prato da balança:

$$M = Pb_p$$

Considerar-se-ão dois casos distintos:

caso 1 - face rectangular parcialmente imersa

caso 2 - face rectangular totalmente imersa

No caso 1 o diagrama de pressões é triangular e as características geométricas da superfície premida são, Figura 6:

$$\text{área: } A = ly$$

$$\text{profundidade do centro de gravidade: } h_G = \frac{y}{2}$$

$$\text{profundidade do centro de impulsões: } h_{c.i.} = h_G + \frac{I_{GG'}}{h_G A}$$

$$\text{com } I_{GG'} = \frac{ly^3}{12}$$

substituindo as grandezas, obtém-se:

$$h_{c.i.} = \frac{y}{2} + \frac{\frac{ly^3}{12}}{\frac{y}{2} ly} = \frac{y}{2} + \frac{y}{6} = \frac{2}{3} y$$

$$\text{A impulsão é calculada através de: } \Pi = \gamma h_G A = \frac{\gamma l y^2}{2}$$

e pode ser determinada experimentalmente através do equilíbrio dos momentos das forças, relativamente ao eixo de apoio do braço:

$$mgL = \Pi(a + d - y + h_{c.i.})$$



$$\Pi = \frac{mgL}{(a + d - y + h_{c.i.})}$$

O valor obtido experimentalmente pode ser comparado com o valor calculado anteriormente.

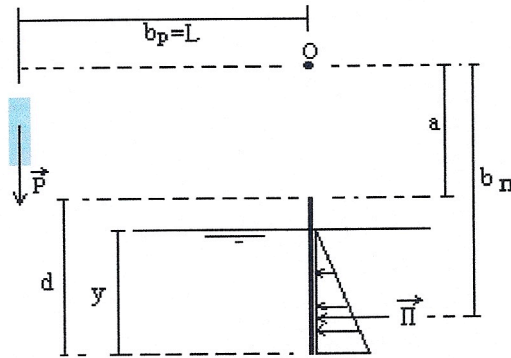


Figura 6 Características geométricas do dispositivo com face rectangular parcialmente submersa

No caso 2 o diagrama de pressões é trapezoidal e as características geométricas da superfície premida são, Figura 7:

área:  $A = ld$

profundidade do centro de gravidade:  $h_G = y - \frac{d}{2}$

profundidade do centro de impulsões:  $h_{c.i.} = h_G + \frac{I_{GG'}}{h_G A}$

com  $I_{GG'} = \frac{ld^3}{12}$

substituindo as grandezas anteriores, obtém-se:

$$h_{c.i.} = \left( y - \frac{d}{2} \right) + \frac{\frac{ld^3}{12}}{\left( y - \frac{d}{2} \right) ld} = \left( y - \frac{d}{2} \right) + \frac{d^2}{12 \left( y - \frac{d}{2} \right)}$$

A impulsão é calculada através de:

$$\Pi = \gamma h_G A = \gamma l d \left( y - \frac{d}{2} \right)$$

e pode ser determinada experimentalmente através do equilíbrio dos momentos das forças aplicadas sobre o quadrante, relativamente ao eixo de apoio do braço:

$$mgL = \Pi(a + d - y + h_{c.i.})$$

$$\Pi = \frac{mgL}{(a + d - y + h_{c.i.})}$$

Este valor pode ser comparado com o valor calculado anteriormente

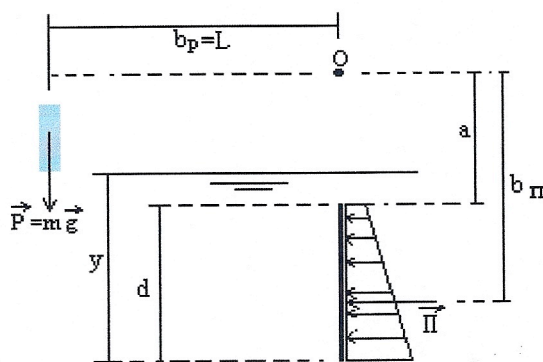


Figura 7 Características geométricas do dispositivo com face rectangular totalmente submersa

### 3.2 Procedimento experimental

O objectivo é determinar experimentalmente a impulsão hidrostática sobre uma superfície plana submersa e a localização do centro de impulsão

#### Equipamento a usar:

- banco hidráulico
- dispositivo de impulsão e centro de impulsão

#### Preparação do equipamento:

Instalar o dispositivo de impulsão e centro de impulsão sobre a superfície de trabalho do banco hidráulico e ajustar os pés de modo a nivelar a base.

Ligar a extremidade da mangueira à torneira de drenagem do tanque e direccionar a outra extremidade para o canal ou reservatório de medição volumétrica.



Medir as dimensões  $a$ ,  $\ell$  e  $d$  do quadrante e a distância entre o eixo de rotação do braço da balança e o apoio do prato da balança, comprimento  $L$ , Figura 6 e 7.

Fixar o quadrante cor-de-laranja ao braço de balança.

Colocar o braço de balança sobre o reservatório e o prato de balança na extremidade do braço prevista para o efeito. Equilibrar o braço de balança com o contrapeso.

#### Determinação experimental da impulsão e centro de impulsão:

- 1 - colocar todas as massas disponíveis no prato da balança;
- 2 - encher o tanque com água até que o braço da balança esteja em equilíbrio (pode fazer o ajustamento do equilíbrio através da drenagem lenta, usando a torneira);
- 3 - remover uma ou duas massas e nivelar o braço despejando mais água até que o braço da balança esteja em equilíbrio, registar na folha de ensaio a massa que se mantém no prato da balança
- 4 - ler a profundidade de imersão na escala do quadrante e registar na folha de ensaio
- 5 - repetir os passos 3 e 4 para o caso da superfície parcialmente imersa

#### 3.3 Resultados e análise

- 1 - para cada situação calcular a impulsão sobre a superfície com base na massa;
- 2 - para cada situação calcular a impulsão e a profundidade do centro de impulsão através da profundidade de imersão (cálculo numérico).

### Folha do ensaio "Impulsão e centro de impulsão"

	a=       mm	d=       mm	$\ell$ =       mm	L=       mm
	<i>Imersão total</i>		sim	
	<i>Imersão parcial</i>			sim
val.med.	massa no prato, m (g)			
	altura de água, y (mm)			
val. calculados	impulsão (experimental) (N)			
	impulsão (teórica) (N)			
	profundidade do centro de impulsão			

**Observações:**

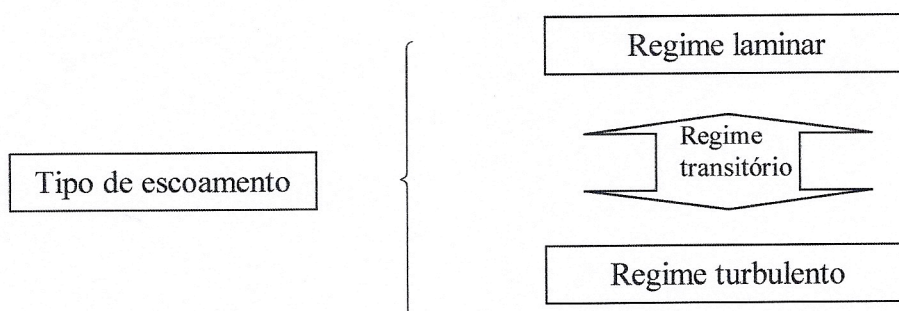


## CAPÍTULO 4

### VISUALIZAÇÃO DO ESCOAMENTO LAMINAR E DO ESCOAMENTO TURBULENTO

#### 4.1 Introdução

A classificação dos escoamentos, tendo em conta o comportamento relativo das partículas, pode esquematizar-se do seguinte modo:



O parâmetro adimensional que permite quantificar o regime de escoamento é o Número de Reynolds.

Num escoamento em conduta circular o Número de Reynolds é determinado pela seguinte expressão:

$$Re = \frac{UD}{\nu}$$

No caso duma tubagem com outra secção transversal (ex: secção rectangular), o diâmetro é substituído pelo diâmetro hidráulico,  $D_h$ :

$$Re = \frac{UD_h}{\nu} = \frac{U4R_h}{\nu}$$

em que o raio hidráulico é igual ao quociente entre a área líquida e o perímetro molhado.

O valor do Número de Reynolds para o qual começa a ocorrer a transição para o regime turbulento indica o Número de Reynolds crítico mais elevado do fluido em causa. O valor do Número de Reynolds a que corresponde o restabelecimento do regime laminar indica o Número de Reynolds crítico mais baixo para o mesmo fluido.

#### 4.2 Procedimento experimental

O objectivo deste trabalho é detectar a ocorrência de um escoamento em regime laminar, a passagem para o regime turbulento através do regime de transição e a determinação dos Números de Reynolds críticos mais elevado e mais baixo.

Este objectivo pode ser cumprido através da visualização do comportamento de um jacto de um líquido colorido injectado no centro da secção de montante do dispositivo, considerando uma regulação cuidadosa dos caudais. É possível a ocorrência do regime turbulento nas secções mais estreitas do tubo e do regime laminar nas secções de montante.

##### Equipamento a usar:

- banco hidráulico
- reservatório de carga constante (P6103)
- dispositivo de Bernoulli (P6231)
- reservatório de carga variável (P6104)
- reservatório para solução corada e respectivo sistema de injeção
- cronómetro

##### Preparação do equipamento:

Fixar o reservatório de carga constante a montante e o reservatório de nível variável a jusante no Banco Hidráulico e inserir o dispositivo de Bernoulli entre os dois reservatórios, usando as uniões apropriadas.

Ligar o tubo flexível de alimentação ao reservatório de montante e manter a carga de 250 mm no reservatório referido.

Preparar a descarga do fluido do reservatório de jusante para o tanque de medição.

Colocar o reservatório da solução corada, miscível com a água, em posição usando o gancho de montagem associado. Garantir que o estrangulador do tubo de borracha impede a passagem de tinta para a agulha de injeção.

Retirar o bujão de bronze do orifício do reservatório de montante respectivo e introduzir a agulha de injeção de modo a que a ponta penetre aproximadamente 10mm na tubagem transparente constituinte do dispositivo de Bernoulli.



#### Visualização do escoamento laminar e do escoamento turbulento:

- 1 - ligar a bomba e estabelecer o escoamento através do dispositivo de Bernoulli;
- 2 - ajustar a válvula de controlo do caudal até obter um pequeno caudal na tubagem de descarga do reservatório de montante;
- 3 - ajustar o tubo de saída do reservatório de jusante de modo a obter uma diferença de carga 10 mm;
- 4 - abrir ligeiramente a pequena válvula na base do reservatório do fluido corado;
- 5 - se o fluido corado se acumula na entrada, aumentar a velocidade do escoamento;
- 6 - obter o regime laminar, em que o filamento colorido será observável ao longo de todo o comprimento da conduta, se tal não acontecer diminuir o caudal até restabelecer a continuidade do filamento;
- 7 - medir um dado volume e o tempo de escoamento correspondente, para determinar o caudal, e registar na folha do ensaio;
- 8 - aumentar gradualmente a diferença de carga entre os dois reservatórios de modo a aumentar o caudal, quando se desenvolverem instabilidades no seio do escoamento registar na folha do ensaio a localização da secção em que ocorreu;
- 9 - medir um dado volume e o tempo de escoamento correspondente para determinar o caudal e registar na folha do ensaio;
- 10 - continuar a aumentar o caudal até que se estabeleça o regime turbulento em toda a conduta, eliminando a existência do filamento colorido em qualquer ponto;
- 11 - reduzir o caudal até ao ponto em que o escoamento deixe de apresentar características de regime turbulento em toda a extensão da conduta;
- 12 - medir um dado volume e o tempo de escoamento correspondente para determinar o caudal e a localização do último vestígio de turbulência, registar na folha do ensaio;
- 13 - desligar a bomba e descarregar toda a água do dispositivo de Bernoulli e dos reservatórios;
- 14 - lavar e limpar os reservatórios e o dispositivo de Bernoulli de qualquer sinal de tinta

#### 4.3 Resultados e análise

- 1 - calcular o caudal, para cada escoamento;
- 2 - calcular a velocidade e o Número de Reynolds nas secções correspondentes às tomadas de pressão, para cada escoamento;
- 3 - determinar o Número de Reynolds crítico mais elevado, em que se verifique a transição do regime laminar para regime turbulento;
- 4 - determinar o Número de Reynolds crítico mais baixo, em que se verifique a transição do regime turbulento para regime laminar.

### Folha do ensaio "Visualização do regime de escoamento "

temperatura da água: \_\_\_\_\_ °C

massa volúmica: \_\_\_\_\_ kgm<sup>-3</sup>

viscosidade: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>

secção de tomada de pressão		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
variáveis medidas	Vol (l)											
	t (s)											
variáveis calculadas	Q (l/s)											
	A											
	v (m/s)											
	Re (--)											
tipo de regime												

temperatura da água: \_\_\_\_\_ °C

massa volúmica: \_\_\_\_\_ kgm<sup>-3</sup>

viscosidade: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>

secção de tomada de pressão		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
variáveis medidas	Vol (l)											
	t (s)											
variáveis calculadas	Q (l/s)											
	A											
	v (m/s)											
	Re (--)											
tipo de regime												



temperatura da água: \_\_\_\_\_ °C

massa volúmica: \_\_\_\_\_ kgm<sup>-3</sup>

viscosidade: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>

secção de tomada de pressão		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
variáveis medidas	Vol (l)											
	t (s)											
variáveis calculadas	Q (l/s)											
	A											
	v (m/s)											
	Re (--)											
tipo de regime												

**Observações:**

## CAPÍTULO 5

### DEMONSTRAÇÃO DA EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE E DO TEOREMA DE BERNOULLI

#### 5.1 Introdução

Dois dos princípios de conservação básicos da Mecânica são o Princípio da Conservação da Massa e o Princípio da Conservação da Energia. Estes princípios podem ser representados pela Equação da Continuidade e pelo Teorema de Bernoulli, respectivamente.

Segundo o Princípio de Conservação da Massa, o fluxo de massa através de qualquer secção deve ser constante:

$$\rho AU = \text{const}$$

e como a massa volúmica é considerada constante, por o líquido ser incompressível, a constância do fluxo de massa é equivalente à manutenção do caudal (fluxo do volume de líquido):

$$Q = AU = \text{const}$$

A aplicação da Equação da Continuidade a um tubo de fluxo permite concluir que, em regime permanente, a velocidade é inversamente proporcional à área da secção do tubo. Numa tubagem de secção convergente, à medida que a área diminui, a velocidade média do escoamento aumenta, enquanto que numa tubagem de secção divergente, à medida que a área aumenta, a velocidade média do escoamento diminui.

O Teorema de Bernoulli generalizado a um tubo de fluxo permite concluir que, em regime permanente, mantendo a cota topográfica, a variação de velocidade é inversamente proporcional à variação de pressão. A redução do valor da altura piezométrica é igual à soma do acréscimo da altura cinética e do valor da perda de carga entre as secções de escoamento.

No caso do escoamento de um fluido perfeito, incompressível e em regime permanente, o Teorema de Bernoulli apresenta a seguinte representação:

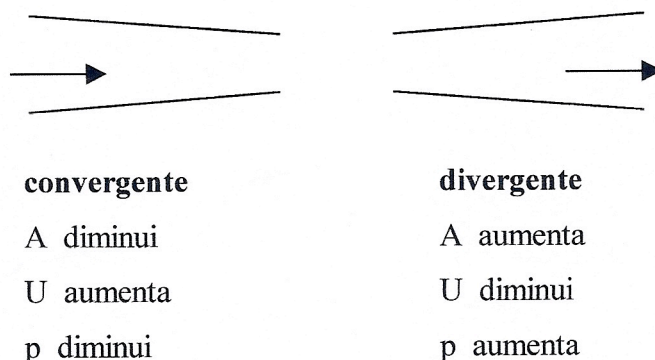
$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{U^2}{2g} = \text{const}$$

A soma das três parcelas: cota topográfica, altura piezométrica e altura cinética, correspondente à energia mecânica total por unidade de peso do fluido designada por



carga hidráulica, mantém-se constante, podendo, no entanto, cada um dos termos variar. Para um escoamento horizontal (cota topográfica constante) a um aumento da altura cinética corresponde uma diminuição da altura piezométrica.

De forma resumida as relações entre área da secção transversal do escoamento, velocidade do escoamento e pressão do escoamento podem ser representadas do seguinte modo:



## 5.2 Procedimento experimental

O objectivo deste trabalho é determinar a variação da velocidade média, a variação da pressão e a relação entre as duas grandezas referidas, nas diferentes secções de um tubo convergente ou divergente. Deste modo, podem ser verificados a Equação da Continuidade e o Teorema de Bernoulli.

Tratando-se de um tubo com um troço convergente seguido de um troço divergente, para o caudal constante, secção rectangular com largura constante e variação de altura linear, a velocidade média do escoamento aumenta ao longo do troço convergente e diminui ao longo do troço divergente segundo uma lei linear. A altura cinética é inversamente proporcional ao quadrado da altura da secção.

Por sua vez, a altura piezométrica é directamente proporcional ao quadrado da altura da secção.

A perda de carga contínua pode ser determinada entre duas secções com a mesma área em que sendo a cota topográfica igual (em que a referência é a superfície limite superior do tubo) e a energia cinética igual, a perda de carga é igual à perda de altura piezométrica.

### Equipamento a usar:

- banco hidráulico
- reservatório de carga constante (P6103)

- dispositivo de Bernoulli (P6231)
- reservatório de carga variável (P6104)
- papel milimétrico A3
- cronómetro

#### Preparação do equipamento:

Fixar o reservatório de carga constante a montante e o reservatório de nível variável a jusante no Banco Hidráulico e inserir o dispositivo de Bernoulli entre os dois reservatórios, usando as uniões apropriadas.

Ligar o tubo flexível de alimentação ao reservatório de montante. Mantendo a carga de 500 mm, instalar o tubo de segurança na saída de descarga do reservatório referido.

Preparar a descarga do fluido do reservatório de jusante para o tanque de medição.

Colocar uma folha de papel milimétrico A3 por trás dos tubos piezométricos de modo a medir as respectivas alturas.

#### Demonstração da equação da continuidade e do teorema de Bernoulli:

- 1 - ligar a bomba e estabelecer o escoamento através do dispositivo de Bernoulli;
- 2 - ajustar a válvula de controlo do caudal até obter um pequeno e permanente caudal na tubagem de segurança do reservatório de montante;
- 3 - ajustar o tubo de saída do reservatório de jusante de modo a obter uma diferença de carga 100 mm;
- 4 - medir a altura de água em cada tubo piezométrico através do papel milimétrico colocado atrás dos tubos e registar as leituras na folha de ensaio;
- 5 - medir o tempo de escoamento necessário para encher o tanque de medição com um volume de 10 litros e registar na folha do ensaio;
- 6 - aumentar a diferença de carga entre a alimentação e a recepção em incrementos de 50 mm, até que o nível de água nos piezómetros centrais saia da escala;
- 7 - para cada situação do número 6 medir os níveis nos piezómetros e o tempo necessário para escoar 10 litros;
- 8 - desligar a bomba e descarregar toda a água do dispositivo e de reservatório.



### 5.3 Resultados e análise

- 1 - calcular o caudal para cada escoamento permanente estabelecido, através do método volumétrico;
- 2 - para cada escoamento calcular a velocidade e o Número de Reynolds nas secções correspondentes às tomadas de pressão;
- 3 - para cada escoamento correspondente aos incrementos na diferença de carga, calcular a velocidade e o Número de Reynolds nas secções relativas às tomadas de pressão;
- 4 - traçar a Linha Piezométrica e a Linha de Energia relativamente a um plano horizontal que passa na superfície superior do tubo, em função da distância à secção de montante.

Observação: verifique que é possível converter a altura piezométrica em altura cinética (convergente) sem perda apreciável de energia, não sendo, contudo, possível converter altura cinética em altura piezométrica (divergente) sem perda de carga significativa.

**Folha do ensaio "Demonstração da equação da continuidade  
e do teorema de Bernoulli "**

temperatura da água: \_\_\_\_\_ °C

massa volúmica: \_\_\_\_\_ kgm<sup>-3</sup>

viscosidade: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>

Secções das tomadas de pressão		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
valores medidos	volume (l)											
	tempo (s)											
	largura da secção (mm)	6.35										
	altura da secção (mm)	16.15	14.19	12.23	10.27	8.31	6.35	8.31	10.27	12.23	14.19	16.15
	distância à secção de montante (mm)	43	68	93	118	143	168	193	218	243	268	293
	altura piezométrica (m c.a.)											
valores calculados	caudal (l/s)											
	área de escoamento											
	cota piezométrica (m c.a.)											
	velocidade (m/s)											
	nº de Reynolds											
	carga total (m c.a.)											

**Observações:**



temperatura da água: \_\_\_\_\_ °C

massa volúmica: \_\_\_\_\_ kgm<sup>-3</sup>

viscosidade: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>

	Secções das tomadas de pressão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
valores medidos	volume (l)											
	tempo (s)											
	largura da secção (mm)	6.35										
	altura da secção (mm)	16.15	14.19	12.23	10.27	8.31	6.35	8.31	10.27	12.23	14.19	16.15
	distância à secção de montante (mm)	43	68	93	118	143	168	193	218	243	268	293
	altura piezométrica (m c.a.)											
valores calculados	caudal (l/s)											
	área de escoamento											
	cota piezométrica (m c.a.)											
	velocidade (m/s)											
	nº de Reynolds											
	carga total (m c.a.)											

**Observações:**

temperatura da água: \_\_\_\_\_ °C

massa volúmica: \_\_\_\_\_ kgm<sup>-3</sup>

viscosidade: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>

Secções das tomadas de pressão		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
valores medidos	volume (l)											
	tempo (s)											
	largura da secção (mm)	6.35										
	altura da secção (mm)	16.15	14.19	12.23	10.27	8.31	6.35	8.31	10.27	12.23	14.19	16.15
	distância à secção de montante (mm)	43	68	93	118	143	168	193	218	243	268	293
	altura piezométrica (m c.a.)											
valores calculados	caudal (l/s)											
	área de escoamento											
	cota piezométrica (m c.a.)											
	velocidade (m/s)											
	nº de Reynolds											
	carga total (m c.a.)											

**Observações:**



### **Bibiligrafia**

Manual de instruções (Parte I), 5ª edição, 1993 da Cussons Technology

Quintela, António C. *Hidráulica* edição da Fundação Calouste Gulbenkian, 1981





